



**GRUPO III  
GRUPO DE ESTUDOS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO (GLT)**

**AVALIAÇÃO DO CARREGAMENTO ELÉTRICO DE LTs EM VÃOS DESNIVELADOS,  
UTILIZANDO PERFIL DE PROJETO DIGITAL, SOFTWARE EM AMBIENTE VISUAL E BASE DE  
DADOS RELACIONAL**

Carlos Alexandre M. do Nascimento\*      João Mucio de Castro Alves

**COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS – CEMIG**

**RESUMO**

Os modelos de cálculos de carregamento elétrico de LTs aéreas utiliza a equação de mudança de estado para um vão básico em relevo nivelado, o que não ocorre no campo. Desse modo, esse trabalho técnico apresenta a aplicação da modelagem para cálculo de tensões e flechas, considerando o tramo entre ancoragens, onde os pesos próprios diferem de um vão para o outro[1].

A metodologia estatística[2] foi acoplada a esse programa de tensões e flechas para cálculo da capacidade de transmissão.

O sistema computacional ficou integrado através de banco de dados relacional, desenvolvido em ambiente visual, algoritmos de otimização para calcular as tensões e flechas e a aplicação da metodologia estatística, objetivando carregamento otimizado das LTs da CEMIG.

**Palavras-chave:** Linhas de Transmissão, Tensões e Flechas, Ampacidade Estatística.

**1 - INTRODUÇÃO**

O ambiente em que estão inseridas as linhas aéreas de transmissão mudam constantemente, devido a vários fatores como por exemplo: invasão de faixa pela população mais carente, crescimento da vegetação, surgimento de novas travessias, expansão das cidades, etc. Esses fatores freqüentemente levam à violação das distâncias mínimas cabo-solo, acarretando perda na capacidade de transmissão e riscos de acidentes.

Para minimizar esses fatores, a CEMIG está desenvolvendo um sistema computacional que calcula

a real condição de operação de uma linha aérea, reavaliando todos os fatores relevantes para se obter a real capacidade de transmissão, agregando confiabilidade, segurança e procurando otimizar os custos nas recapacitações.

O sistema utiliza algoritmos de otimização, considerando a equação de mudança de estado e o desnível do solo. Uma das vantagens observada nesse sistema é seu desenvolvimento em ambiente de base de dados relacional e linguagem de programação visual.

Nessa base de dados, o ganho visual observado nas informações é um fator diferencial nas tomadas de decisões pelas equipes de projeto, operação e manutenção.

O perfil da linha pode ser digitalizado usando-se scanner, mesa digitalizadora ou manualmente. As informações do perfil digital são processadas em ambiente visual e podem ser acessadas através de redes corporativas em diversas áreas da empresa. Essas informações são armazenadas em banco de dados relacional, proporcionando facilmente a visualização das informações em base de dados georreferenciados.

Uma outra importante função do sistema é trabalhar com o comportamento dinâmico dos cabos nos tramos da linha, encontrando a condição final das flechas em função da temperatura de operação dos mesmos e do esforço mecânico provocado pelos ventos.

O sistema calcula os pontos críticos independentes do relevo, isto é, não utiliza um vão básico teórico e relevo nivelado para cálculo das distâncias mínimas cabo-solo. Assim sendo, as possibilidades de melhor explorar o carregamento das linhas novas e existentes

\*Departamento de Engenharia de Linhas de Transmissão – ER/LT

Av. Barbacena, 1200 - Belo Horizonte - Minas Gerais - Brasil - CEP 30.970-123

Fone: 55 031 349-3382 Fax: 55 031 349-3791 - e-mail: caxandre@cemig.com.br

podem ser analisadas de forma sistemática para todos os vãos, localizando-se os vãos mais críticos da linha em estudo.

As equipes que operam o sistema de transmissão podem simular condições de operação em regimes normal e de emergência, as quais são pouco pesquisadas fisicamente até hoje, pelo setor elétrico.

O melhor conhecimento da condição real de uma linha em uso é fator importante para as decisões do planejamento do sistema sobre quando disparar os processos de recapitação, buscando otimizar os custos das obras e podendo, em algumas análises, até melhorar o carregamento das linhas existentes, minimizando as modificações de projeto nas recapitações.

## 2 - SISTEMA MEVR

A Figura 1 mostra a tela inicial do sistema MEVR, sistema de cálculo de carregamento elétrico de LTs aéreas, utilizando equação de mudança de estado em vão real e metodologia estatística. O MEVR está sendo desenvolvido em etapas distintas para contemplar toda sua gama de aplicação nos estudos de recapitação e otimização da capacidade das LTs aéreas.

As etapas foram planejadas em seis (6), para que o sistema fosse ganhando consistência e operacionalidade nas atividades desenvolvidas pelas equipes de engenharia de linhas de transmissão.

**Etapa – 1:** Conversão do programa de tensões e flechas do sistema DOS-PASCAL para WINDOWS-VISUAL BASIC/ACCESS.

**Etapa – 2:** Criação do banco de dados relacional de informações de projeto e campo das LTs.

**Etapa – 3:** Acoplamento entre as informações da base relacional com a base de cálculo do programa tensões e flechas.

**Etapa – 4:** Visualização dos cálculos em ambiente visual e em forma de relatórios.

**Etapa – 5:** Inclusão da metodologia estatística para calcular a ampacidade das LTs.

**Etapa – 6:** Verificação da condição de carregamento atual das LTs após dados de inspeção de campo.



FIGURA 1 – TELA INICIAL DO SISTEMA MEVR

### 2.1 - Fluxograma Simplificado

Para simplificação do entendimento do sistema MEVR, a Figura 2 mostra resumidamente quais são os principais procedimentos para execução de todo o sistema computacional.

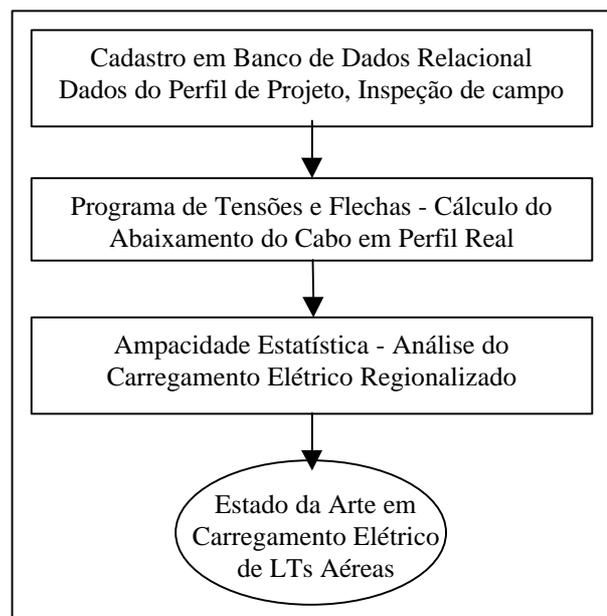


FIGURA 2 – FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO DO SISTEMA MEVR

### 2.2 - Cadastro em Banco de Dados Relacional

Para uma correta ordenação de todas as informações necessárias para execução do sistema MEVR foram desenvolvidos os cadastros formas de tabelas, utilizando dados relacional, baseadas na base de dados do tipo MDB (MicroSoft Data Base). Esse formato é utilizado em grande escala pelos bancos de dados georreferenciados.

As informações que são cadastradas no MEVR estão listadas a seguir:

- Linhas de Transmissão
- Cabos
- Variáveis de Processamento
- Perfil de Projeto
- Dados de Campo
- Estações Meteorológicas

A Tabela 1 mostra o cadastro mais importante para o sistema MEVR, que é o perfil digital de uma LT. Essas informações podem ser processadas através de leitura manual do perfil de projeto, através de dados de caderneta de campo, digitalização gráfica, etc.

**TABELA 1 – PERFIL DIGITAL DE LTs.**

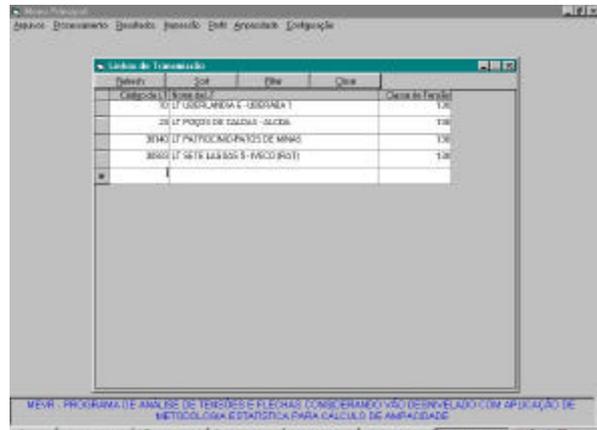
CL	CT	CE	PC	ACS (m)	DE (m)	N (m)	D (m)	C (m)
23	0	0	0	9	0	600	5	77.25
23	0	0	1	9	20	600		
23	0	0	2	10	40	600		
23	0	0	3	12.5	67	600		
23	1	1	0	15	77.25	599	-6	410.5
23	1	1	1	11	100	584		
23	1	1	2	11.5	282	578.5		
23	1	1	3	13	352	584		
23	2	2	0	18.5	487.8	589.5	59	514.2
23	2	2	1	7.5	212	604		
23	2	2	2	7.5	292	612.5		
23	2	2	3	8.5	390	629		
23	2	3	0	20	1002	647	-25	489
23	2	3	1	17	58	641		
23	2	3	2	16.5	97	635		
23	2	3	3	34	332	600		

**NOTA:**

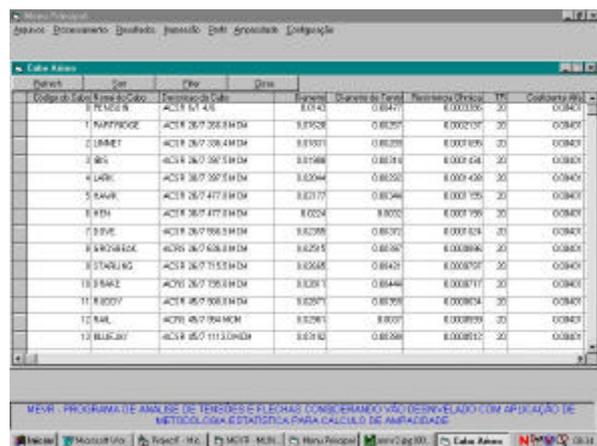
- CL – Código da Linhas de Transmissão
- CT – Código do Tramo
- CE – Código da Estrutura
- PC – Código do Ponto Crítico
- ACS – Altura Cabo-Solo
- DE – Distância da Estrutura da Esquerda
- N – Nível do relevo
- D – Desnível entre Estruturas
- C – Comprimento do Vão

Observa-se na Tabela 1 o surgimento de muitos códigos associados ao perfil da linha, esses códigos que tornam possível a base de dados se tornar relacional e operacional durante a execução do sistema.

Para simplificar a inclusão de dados no banco de dados foi desenvolvido uma tela padrão de inclusão, alteração e exclusão dos registros. Para exemplificação dessas telas dos cadastros, as Figuras 3 e 4 mostram respectivamente a tela de cadastro de linhas de transmissão e a dos cabos.



**FIGURA 3 – TELA PADRÃO DO SISTEMA MEVR CADASTRO DE LTs.**



**FIGURA 4 – TELA PADRÃO DO SISTEMA MEVR CADASTRO DE CABOS CAA PARA LTs.**

### 2.3 - Execução do Programa de Tensões e Flechas

Para executar o programa de tensões e flechas é necessário informar algumas condições iniciais e finais de projeto da linha de transmissão, para desenvolvimento da equação de mudança de estado, como mostra a Tabela 2. Essas informações associadas as informações contidas na Tabela 1 executam todo o procedimento de análise de abaixamento do cabo bem como as tensões e flechas resultantes das condições limites impostas.

O exemplo de execução do programa de tensões e flechas, mostrado na Tabela 2, considera o estudo da

LT Sete Lagoas 5 – Iveco, 138 kV, em fase de projeto, cabo Linnnet novo, temperatura de projeto nos limites iniciais e finais (°C), tensão de esticamento (%), módulo de elasticidade, dilatação térmica, número de condutores por fase, peso da cadeia e travessia.

**TABELA 2 – VARIÁVEIS PARA PROCESSAMENTO DO PROGRAMA DE TENSÕES E FLECHAS.**

Descrição das Variáveis	Variável
Código do Processamento	30966
Título do Processamento	LT Sete Lagoas
Código do Cabo	2
Idade do Cabo Est1	0
Idade do Cabo Est2	0
Temperatura Est1	20
Temperatura Est2	75
Tração Horizontal Est1	1182
Módulo de Elasticidade	710000
Dilatação Térmica	0.0000189
Peso da Cadeia de Isoladores	50
Número de Cabos por Fase	1
Travessia	Não

Observa-se na Tabela 2 que existe uma gama de simulações possíveis de serem executadas, nos estudos de aumento da temperatura de operação, verificando o abaixamento do cabo, efeito do Creep, através das variáveis de tempo de uso do cabo, análise para várias bitolas de cabos, condição de travessia e configuração de circuitos com cabos germinados, etc.

#### 2.4 - Resultados do Programa de Tensões e Flechas

A Figura 5 mostra o resultado da simulação desenvolvida para encontrar as tensões e flechas, resultados esses que estão diretamente relacionados ao abaixamento do cabo. Esse relatório fornece as seguintes informações descritas abaixo:

- Flecha de gabarito no estado 1
- Flechas nos estados 1 e 2
- Flechas corrigidas nos estados 1 e 2
- Comprimento do cabo no vão, nos estados 1 e 2.
- Comprimento do cabo no tramo nos estados 1 e 2.
- Tensões nos suportes direito e esquerda, nos estados 1 e 2.

MEVR – Relatório de Tensões e Flechas														<b>CEMIG</b>	
Código do LT = 30933															
Nome da LT = LT SETE LAGOAS 5 – IVECO, 138 Kv															
Título do processamento = LT Iveco ( 75 ° Final )															
Cabo = LINNET - novo      Temperatura Est1: 20 °C      Temperatura Est2: 75 °C															
Tração Horizontal Estudo = 1182 kgf      Módulo de Elasticidade = 710000															
Código do Tramo	Código da Estrutura	TX no SE Est1	TX no SE Est2	TX no SD Est1	TX no SD Est2	Flecha no Est1	Flecha no Est2	F-Corr no Est1	F-Corr no Est2	F- Gabar	C-Cabo Est1	C-Cabo Est2	C-Cabo Tramo E1	C-Cabo Tramo E2	
Tensão Horizontal Est 2 = 428.8															
0	0	1183.5	428.9	1186.6	432.0	0.3	0.8	0.3	1.0	32.4	64.9	65.0	64.9	65.0	
Tensão Horizontal Est 2 = 978.7															
1	1	1182.4	978.8	1190.3	986.7	1.9	2.2	1.9	2.3	14.1	160.0	160.0			
1	2	1223.7	1020.4	1182.1	978.7	13.7	16.5			14.1	436.0	436.5			
1	3	1207.6	1004.8	1182.1	979.2	10.3	12.4			14.1	377.6	377.9			
1	4	1189.8	988.0	1188.7	986.9	10.5	12.7			14.1	380.8	381.1			
1	5	1182.0	978.8	1204.7	1001.5	7.9	9.6	7.9	9.6	14.1	330.9	331.2	1685.3	1686.8	
Tensão Horizontal Est 2 = 1004.4															
2	6	1183.2	1006.6	1204.7	1028.1	12.4	14.6	12.4	14.6	13.7	413.4	413.8			
2	7	1184.0	1007.6	1204.0	1027.7	13.5	15.9			13.7	432.1	432.5			
2	8	1184.5	1008.4	1206.3	1030.2	15.5	18.2			13.7	462.5	463.0			
2	9	1182.0	1004.7	1201.5	1024.2	7.7	9.1			13.7	326.7	326.9			
2	10	1193.4	1016.9	1185.3	1008.8	9.7	11.4			13.7	365.9	366.1			
2	11	1183.6	1006.4	1184.5	1007.3	2.9	3.4			13.7	200.1	200.2			
2	12	1201.1	1025.4	1187.4	1011.6	16.3	19.1	16.3	19.2	13.7	473.7	474.3	2674.3	2676.7	

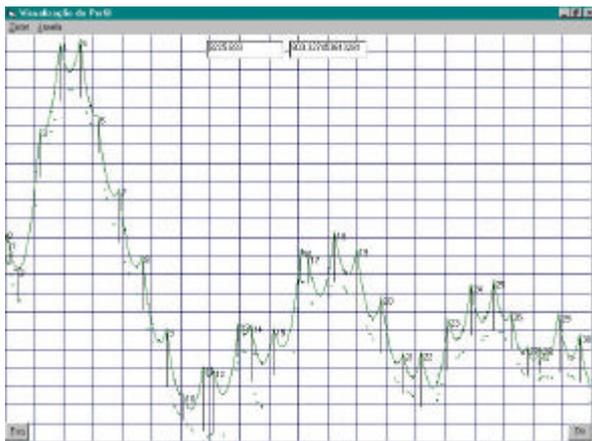
**FIGURA 5 – RELATÓRIO COM AS INFORMAÇÕES DE TENSÕES E FLECHAS.**

## 2.5 - Visualização do Perfil Digital

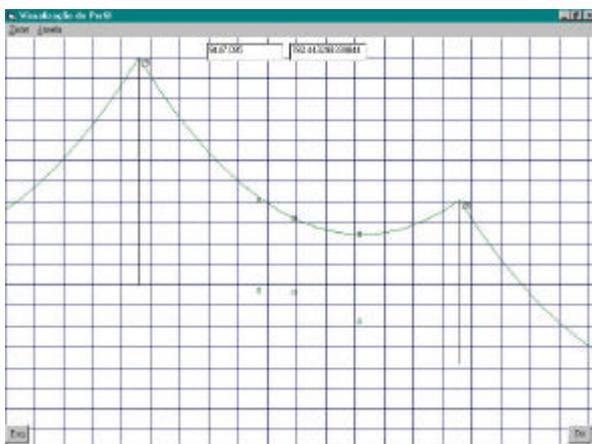
Uma importante ferramenta computacional desenvolvida no MEVR foi a visualização do perfil digital em ambiente visual. Essas informações são facilmente analisadas pelas equipes de projeto, confrontando as informações dos relatórios de cálculos gerados pelo sistema, para analisar principalmente as violações das alturas cabo-solo.

A Figura 6 mostra todo o perfil digital da LT Sete Lagoas 5 – Iveco, 138 kV, onde os pontos críticos foram retirados do perfil de projeto original da linha e a catenária foi calculada pelo programa de tensões e flechas, que está integrado no sistema MEVR.

A Figura 7 mostra um vão ampliado entre as estruturas 25 e 26, os pontos críticos digitalizados do perfil de projeto da linha e observa-se que o programa de tensões e flechas calcula exatamente a catenária de projeto da linha.



**FIGURA 6 – PERFIL DIGITAL DA LT EM TELA AMBIENTE VISUAL.**



**FIGURA 7 – TRAÇADO DA CATENÁRIA E LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS CRÍTICOS.**

## 3 - METODOLOGIA ESTATÍSTICA

O MEVR contempla as rotinas de cálculo da ampacidade estatística, utilizando o método desenvolvido pela FT de Ampacidade do GCPS/GCOI[2]. Esse modelo foi desenvolvido com algumas simplificações na utilização da equação de mudança de estado, considerando vão básico em relevo nivelado.

Para a solução dessas simplificações impostas pelo método desenvolvido pela FT de Ampacidade, o MEVR processa o cálculo da ampacidade estatística para o comportamento real do tramo em vão desnivelado, isto é não considera o vão básico e nivelado para cálculo das flechas.

## 4 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

É importante observar que o método para análise de abaixamento do cabo utilizando vão básico e relevo desnivelado é arcaico e impreciso, sendo assim, a aplicação desse sistema visa agregar agilidade, segurança na operação das linhas e otimização dos custos envolvidos em recapitação de LTs.

O processamento da metodologia estatística para todos os tramos e conseqüentemente para todos os vãos de uma linha de transmissão, que é o caso do MEVR, agrega agilidade, confiabilidade e otimização do carregamento elétrico, uma vez que a possibilidade de melhor explorar o carregamento em vãos desnivelados é considerável.

A redução no tempo de execução dos processos de recapitação e visualização das informações em ambiente visual, agrega alta qualidade para as análises tomadas pelas equipes de projeto, uma vez que, o fenômeno no campo está sendo precisamente simulado no sistema MEVR.

## 7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Castro Alves J. Mucio, et alli – Método para cálculo de tensões e flechas de cabos. Utilização da equação de mudança de estado contemplando uma situação realista da LT – GLT-III - XIII SNPTEE – Florianópolis-SC, Brasil, 1995.

[2] Critérios e Procedimentos para o Cálculo da Ampacidade Estatística de Linhas Aéreas de Transmissão com Cabos Alumínio-Aço – FT Conjunta Ampacidade, GTCP/CTST/GCPS/GTAD/SCEL/GCOI, Agosto/1993.